

## Розмірна обробка електричною дугою ступінчастих пуансонів

В статті описано нову технологічну схему формоутворення РОД ступінчастих пуансонів  
технологічна схема, ступінчатий пуансон, розділовий штамп, комбіноване сопло

В розділових штампах одним з найпоширеніших способів кріплення пуансона в пуансонотримачі є кріплення пуансона за допомогою буртика. В складнопрофільних пуансонах для зниження собівартості пуансона і підвищення його жорсткості застосовують перехід від робочого, профільованого контуру до більш простого контуру: кола або прямокутника. Зазначимо також, що в сучасному виробництві все частіше в розділових штампах застосовуються пуансони з важкооброблювальних матеріалів. Зазвичай такі пуансони виготовляють обробкою різанням. В цьому зв'язку помітний практичний інтерес являє виготовлення таких деталей способом РОД, який, як відомо [1], порівняно з традиційними способами металообробки забезпечує значно більш високу продуктивність.

Відомим є спосіб отримання ступінчастих стержнів РОД [1], що дозволяє отримувати ступінчасті стержні зі співвідношенням периметра вихідної заготовки до периметра отриманого стержня  $P_3/P_4 < 2$ . Проте такий процес має недоліки. При виготовленні ступінчастих пуансонів, зі значною величиною буртика в умовах зазначеного процесу, є те, що при прокачуванні робочої рідини від центру до периферії пуансона спостерігається значне погіршення якості торцевої поверхні, і цим не забезпечуються відповідні вимоги до якості торцевої поверхні пуансона. Це пов'язано з різким зниженням швидкості потоку в напрямку вилучення робочої рідини з торцевого міжелектродного зазору (МЕЗ) з утворенням на периферійній частині так званих видовжених (мало стиснутих) дуг, які за своїми параметрами не можуть вести розмірну обробку. При цьому швидкість потоку в торцевому МЕЗ знижується з двох причин:

- через геометрію торцевого МЕЗ (лінії течії в торцевому МЕЗ при використанні прямого способу прокачування розходяться (рисунок 1а));
- внаслідок збільшення торцевого МЕЗ в напрямку евакуації продуктів ерозії з нього, що пов'язано з вторинним диспергуванням продуктів ерозії (рисунок 1б).

Виходячи з закону постійності об'єму витрата рідини на вході і на виході з МЕЗ однакова:

$$Q = F \cdot v, \quad (1)$$

де  $F$  – площа МЕЗ, м<sup>2</sup>;  $v$  – швидкість потоку рідини, м/с.

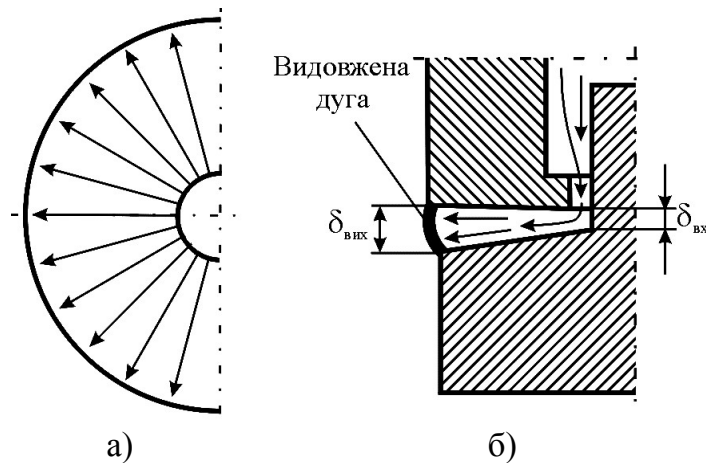


Рисунок 1 – Лінії течії, що розходяться, в торцевому МЕЗ (а), та збільшення торцевого МЕЗ в напрямку евакуації продуктів ерозії (б)

Як видно з рисунку 1 площа МЕЗ на вході потоку рідини  $F_0$  значно менша площі МЕЗ на виході потоку рідини  $F_1$ . З виразу (1) видно, що швидкість потоку рідини на вході в МЕЗ  $v_{\text{вх}} = \frac{Q}{F_0}$  значно більша швидкості потоку рідини на виході з МЕЗ

$$v_{\text{вих}} = \frac{Q}{F_1}.$$

Для покращення якості торцевої поверхні пуансона запропоновано і реалізовано спосіб розмірної обробки ступінчастих стержнів [2], який усуває зазначені недоліки і дозволяє суттєво зменшити нерівномірність шорсткості, покращити якість торцевої поверхні та кромки, і відрізняється тим, що перпендикулярно до торцевого МЕЗ, через розташований напроти електрод-заготовки (ЕЗ) конфузор утворений кутом  $\alpha=6...7^\circ$ , та радіусом  $r_1=3...5$  мм на вході в конфузор подається додатковий потік. Надалі робочу рідину, відводять через дифузор розташований напроти електрод-інструменту (ЕІ), і утворений кутом  $\beta=2,5...3,5^\circ$ , і радіусом  $r_2=10...15$  мм, що розміщений напроти МЕЗ на відстані  $x$  (рис. 2).

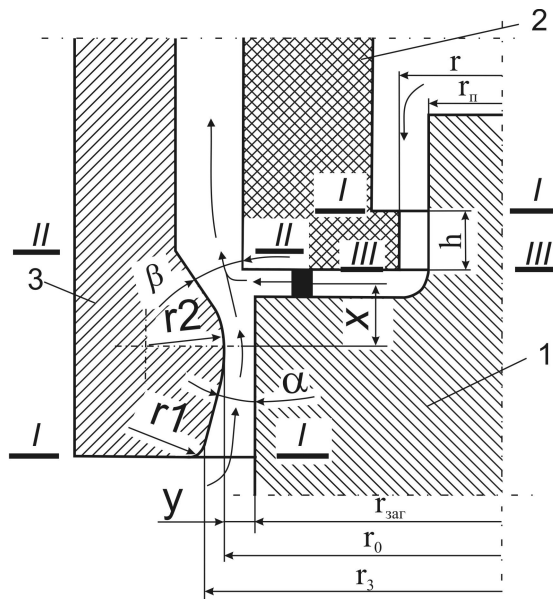


Рисунок 2 – Технологічна схема формоутворення ступінчастого стержня

Для забезпечення оптимальних умов реалізації зазначеного процесу необхідно забезпечити достатню швидкість додаткового потоку навпроти торцевого МЕЗ. Зміна швидкості додаткового потоку досягається шляхом зміщення комбінованого сопла 3 відносно торцевого МЕЗ на відстань  $x$ . Радіус  $r_2$  розташований на відстані  $y=(1...2)\delta$  від заготовки 1. Важливим стає визначення оптимальної відстані  $x$ , яка б забезпечувала оптимальні умови протікання процесу РОД.

Якщо радіус  $r_2$  розташований на відстані  $x = 0$  швидкість додаткового потоку виявляється недостатньою, на кромці торцевої поверхні виникають видовжені дуги, що призводять до дестабілізації процесу РОД і оплавлення робочої кромки пуансона.

Зміщення комбінованого сопла відносно торцевого МЕЗ призводить до поступового збільшення швидкості додаткового потоку робочої рідини. При досягненні оптимального значення  $x$  відбувається затягування, додатковим потоком робочої рідини, основного потоку з МЕЗ, що призводить до збільшення швидкості потоку на виході з МЕЗ, а отже, покращення гідродинамічних умов процесу РОД на кромці ЕІ. За таких умов видовжені дуги на кромці ЕІ не утворюються і, як наслідок, не відбувається оплавлення робочої кромки пуансона.

Якщо продовжувати зміщення комбінованого сопла відносно торцевого МЕЗ відбувається поступове зниження швидкості додаткового потоку робочої рідини, що є наслідком значного збільшення щільності між комбінованим соплом і ЕІ. За таких умов відбувається зниження швидкості основного потоку, що призводить до появи на кромці ЕІ видовжених дуг, які призводять до дестабілізації процесу РОД і оплавлення робочої кромки пуансона, що є недопустимо.

Зниження нерівномірності шорсткості на бічній та торцевій поверхнях пуансону буде спостерігатися, якщо швидкість додаткового потоку навпроти торцевого МЕЗ  $v_{II-II}$  буде наближатися до швидкості потоку на виході з бічного МЕЗ  $v_{III-III}$ :

$$v_{II-II} \approx v_{III-III} \quad (2)$$

Для визначення швидкості додаткового потоку для перерізів I-I і II-II запишемо рівняння Бернуллі [3] (рисунк 2)

$$P_{s \text{ I-I}} = \frac{\rho v_{II-II}^2}{2} + \sum_{i=1}^n \lambda \frac{l_i}{d_i} \frac{\rho v_i^2}{2} + \sum_{k=1}^m \xi_k \frac{\rho v_k^2}{2}, \quad (3)$$

де  $v_{II-II}$  – швидкість потоку на виході з зазору, м/с;  $\lambda$  – коефіцієнт опору на довжині відповідної траси;  $l_i$  – довжина відповідної траси, м;  $d_i = D_o - d = 2\delta$  – гідравлічний діаметр кільцевого зазору, м;  $\delta$  – односторонній між електродний зазор, м;  $v_i$  та  $v_k$  – швидкість потоку на відповідних ділянках траси, м/с;  $\xi_k$  – коефіцієнт місцевого опору (вхід в зазор, поворот, вихід, і т. ін.).

Із виразу (3) теоретичну швидкість витікання рідини із щілини (переріз II-II) визначають за формулою

$$v_{II-II} = \sqrt{\frac{2}{\rho} \left( P_{s \text{ I-I}} - \sum_{i=1}^n \lambda \frac{l_i}{d_i} \frac{\rho v_i^2}{2} - \sum_{k=1}^m \xi_k \frac{\rho v_k^2}{2} \right)}. \quad (4)$$

Коефіцієнт опору конфузора [4]

$$\xi_{\text{конф}} = \xi' \left( 1 - \frac{F_0^{\text{конф}}}{F_1^{\text{конф}}} \right) + \xi_{\text{тер}}, \quad (5)$$

де  $\xi'$  – коефіцієнт опору удару при миттєвому звууженню;

$F_0^{\text{конф}}$  – площа найбільш вузького перерізу ділянки, м<sup>2</sup>;

$F_1^{\text{конф}}$  – площа перерізу каналу перед вузьким перерізом ділянки, м<sup>2</sup>;

$$\xi_{тер} - \text{коефіцієнт тертя, } \xi_{тер} = \frac{\lambda}{8 \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)} \left(1 - \left(\frac{F_0}{F_1}\right)^2\right).$$

Тоді

$$\xi_{конф} = \xi' \left(1 - \frac{F_0^{конф}}{F_1^{конф}}\right) + \frac{\lambda}{8 \sin \alpha} \left(1 - \left(\frac{F_0^{конф}}{F_1^{конф}}\right)^2\right) \quad (6)$$

Коефіцієнт опору дифузора

$$\xi_{диф} = \xi_{розш} + \xi_{тер}, \quad (7)$$

де  $\xi_{розш}$  – коефіцієнт місцевого опору розширення.

Коефіцієнт місцевого опору розширення виражається через коефіцієнт повноти удару наступним чином:

$$\xi_{розш} = \frac{\Delta H}{\frac{\gamma \omega_0^2}{2g}} = \varphi_{розш} \left(1 - \frac{F_0^{диф}}{F_1^{диф}}\right)^2 = k_2 \operatorname{tg} \beta \sqrt{\operatorname{tg} \beta} \left(1 - \frac{F_0^{диф}}{F_1^{диф}}\right)^2, \quad (8)$$

де  $\Delta H$  – втрати тиску (опір) ділянки,  $\text{кг/м}^2$ ;  $\omega_0$  – середня швидкість потоку в вузькому перерізі дифузора,  $\text{м/с}$ ;  $\varphi_{розш}$  – коефіцієнт повноти удару;  $F_0^{диф}$  – площа вузького перерізу дифузора,  $\text{м}^2$ ;  $F_1^{диф}$  – площа широкого перерізу дифузора,  $\text{м}^2$ ;  $k_2$  – для конічних і плоских дифузорові приймають  $k_2 \approx 3,2$ .

Тоді

$$\xi_{диф} = k_2 \operatorname{tg} \beta \sqrt{\operatorname{tg} \beta} \left(1 - \frac{F_0^{диф}}{F_1^{диф}}\right)^2 + \frac{\lambda_1}{8 \sin \beta} \left(1 - \left(\frac{F_0^{диф}}{F_1^{диф}}\right)^2\right). \quad (9)$$

Втрати тиску при вході в конфузور

$$\xi_{вх} = \frac{\Delta H_{вх}}{\frac{\gamma \omega_{0вх}^2}{2g}}. \quad (10)$$

Загальні втрати тиску робочої рідини в комбінованому соплі

$$\xi_{кс} = \xi_{диф} + \xi_{конф} + \xi_{вх} = \left( k_2 \operatorname{tg} \beta \sqrt{\operatorname{tg} \beta} \left(1 - \frac{F_0^{диф}}{F_1^{диф}}\right)^2 + \frac{\lambda_1}{8 \sin \beta} \left(1 - \left(\frac{F_0^{диф}}{F_1^{диф}}\right)^2\right) \right) + \left( \xi' \left(1 - \frac{F_0^{конф}}{F_1^{конф}}\right) + \frac{\lambda}{8 \sin \alpha} \left(1 - \left(\frac{F_0^{конф}}{F_1^{конф}}\right)^2\right) \right) + \left( \frac{\Delta H_{вх}}{\frac{\gamma \omega_{0вх}^2}{2g}} \right). \quad (11)$$

Динамічний тиск робочої рідини на виході з комбінованого сопла

$$P_d = \frac{\rho v^2}{2} = \frac{P_s}{1 + \xi_{кс}}. \quad (12)$$

Швидкість робочої рідини на виході з комбінованого сопла

$$v_{II-II} = \sqrt{\frac{2P_{sI-I}}{\rho(1 + \xi_{кс})}}. \quad (13)$$

З рівняння (3) швидкості потоку на виході з бічного МЕЗ  $v_{III-III}$ :

$$v_{III-III} = \sqrt{\frac{2P_{sl-I}}{\rho(1+\xi)}}. \quad (14)$$

Підставимо в рівняння (2) значення  $v_{II-II}$  та  $v_{III-III}$  отримаємо:

$$\xi_{kc} = \xi. \quad (15)$$

Враховуючи рівняння (11):

$$\xi_{diff} = \xi - \xi_{conf} - \xi_{ex}. \quad (16)$$

Прийемо, що:  $G = k_2 \sqrt[4]{\tan^5(\beta)}$ ,  $T = \frac{\lambda}{\sin \beta}$ ,  $J = 2r_0 \tan \beta$ ,  $B = \tan^2 \beta$

де  $r_0$  – радіус комбінованого сопла, м.

Звідки необхідна відстань зміщення комбінованого сопла відносно торцевого МЕЗ:

$$x = \frac{-2J + \sqrt{4J^2 - 4B \left( \frac{-GF_0 + \sqrt{(GF_0)^2 + 4 \left( \xi - \xi_{conf} - \xi_{ex} - G - \frac{T}{8} \right) \left( GF_0^2 - \frac{TF_0^2}{8} \right)}}{2 \left( \xi - \xi_{conf} - \xi_{ex} - G - \frac{T}{8} \right)} + \frac{F_0}{\pi} \right)}}{2B}. \quad (17)$$

Для визначення експериментального значення відстані  $x$  виготовлено комбіноване сопло з розмірами  $r_0=24,25\text{мм}$ ,  $r_1=4\text{мм}$ ,  $r_3=25,875\text{мм}$ . Радіус заготовки  $r_{заг}=24,25\text{мм}$ , радіус пуансона  $r_{п}=17,5$ , радіус отвору ЕІ  $r=17,6\text{мм}$ , висота пояса ЕІ  $h=1,5\text{мм}$ . Статичний тиск робочої рідини на вході в МЕЗ  $P_s=1,2\text{МПа}$ .

В результаті експериментальних досліджень отримано відстань  $x=12\text{мм}$ .

Для перевірки виразу (17) в нього підставлено вище зазначені параметри і отримано відстань  $x \approx 11,846\text{мм}$ .

Описано технологічну схему формоутворення ступінчастих пуансонів, виведено формулу для розрахунку загальних втрат тиску в комбінованому соплі, а також формулу для розрахунку необхідної відстані зміщення комбінованого сопла  $x$  відносно торцевого МЕЗ.

## Список літератури

1. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.07. / Кіровоградський держ. техн. ун-т. – К., 1998. – 32 с.
2. Пат. 69535 А Україна, МПК 7 B23H1/00, B23H1/02. Спосіб розмірної обробки ступінчастих стержнів електричною дугою. / В. І. Носуленко, О. С. Чумаченко, П. М. Великий, В. М. Шмельов (Україна). - №2003076057; Заявл. 1.07.2003; Опубл. 15.09. 2004, Бюл. №9.
3. Чумаченко О. С. Розмірна обробка електричною дугою листових деталей: Автореф. дис. к-та техн. наук: 05.03.07. / Київський політехнічний інститут – К., 2002. – 18 с.
4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям.- М.: Машиностроение, 1975. - 559с.

В статье описано технологическую схему формообразования ступенчатых пуансонов методом размерной обработки электрической дугой.

In article it is described the technological circuit of formation of step punches by a method of dimensional processing by an electric arch.